

DA Motorunun Dört Bölge Denetiminin Eğitim Amaçlı Gerçekleştirilmesi

İlhami ÇOLAK*, Mustafa SOYSAL**, Erdal IRMAK*, Ramazan BAYINDIR*

*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü,
06500 Teknikokullar, ANKARA

**M.E.B. İskitler Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Eğitimi Bölümü, İskitler/ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, darbe genişlik modülasyonu denetimli IGBT anahtarlama elemanı kullanılarak bir doğru akım motorunun dört bölge hız denetimi gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışmasında PIC 18F4520 mikro denetleyici kullanılmıştır. Dört bölge kontrolünde tam köprü sürücü kullanılarak ölü bant gecikmesi yok edilmiştir. Hazırlanan deney kartı üzerindeki LCD ve deney kartına bağlanan tuş takımı yardımıyla doğru akım motorunun dört bölge çalışması mühendislik eğitimi ve teknik eğitim için bir eğitim setine dönüştürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: DA motor, Hız Denetimi, Dört bölge kontrol, Mikrodenetleyici

Educational Purposes Implementation of DC Motor Four-Quadrant Speed Control

ABSTRACT

In this study, a PWM controlled direct current (DC) motor Four-Quadrant speed control drive circuit has been developed using IGBT switching component. PIC 18F4520 microcontroller was used in the implementation. Dead time delay was removed using full bridge driver in the four-quadrant control. Four-Quadrant control of DC motor with experiment card, LCD and key pad was converted to an educational tool for engineering and technical education.

Key Words: DC motor, speed control, four-quadrant control, microcontroller

1. GİRİŞ

Kolay kontrol edilebilme ve yüksek performans gibi üstünlüklere sahip olan doğru akım (DA) motorlarının hızları geniş sınırlar içerisinde ayarlanabilmektedir. DA motorları endüstride hızlı taşımacılık, elektrik trenleri, elektrikli taşıtlar, elektrikli vinçler, yazıcı, disket sürücü, kağıt endüstrisi gibi yerlerde ayarlanabilir hız ve hassas konumlandırma uygulamalarında kullanılırlar. Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte ev aletleri uygulamalarında, düşük güçlü ve düşük maliyet istenen ayarlanabilir hız gereken yerlerde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur (1). Geniş uygulama alanı bulmasının diğer bir sebebi de alternatif akım (AA) motorlarına göre kontrolünün daha kolay olmasıdır. AA motoru sürücüleri ile kıyaslandığında, DA motoru sürücü devrelerinin basit ve ucuz olması ayarlanabilir hız uygulamalarında DA motorunu ön plana çıkarmıştır (2). DA sürücülerinin uygulamasında kullanılan analog sürücüler, analog devre elemanları ve uygulanan karmaşık kontrol şemaları gibi dezavantajlara sahiptir. Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler mevcut olan sistemlerden daha küçük olan, daha hızlı işlem yapabilen, ekonomik ve ayarlanabilir hızlı sürücüleri denetleyiciler ile yapmak mümkün olmuştur (3-4). Denetleyici tabanlı ayarlanabilir hızlı motor sürücüleri endüstriyel otomasyonun gelişmesinde

de önemli rol oynamıştır (5-7). Ayrıca denetleyiciler şebekede güç katsayı düzeltmek için, ölçü aletlerinde, sıcaklık kontrolü, gibi birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (8, 9).

Yapılan çalışma ile DA motorunun dört bölge denetiminin mikro denetleyici tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Sistem içerisinde elektromekanik kumanda elemanları kullanılmadığı için, mekanik olarak doğabilecek her türlü sorun ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca lineer olmayan elemanlardan oluşan bir sistemin DA motorunun kontrol işleminde bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Bu tür devrelerde DA motorunun hassas ve hızlı bir biçimde kontrol edilmesi gerekmektedir. DA motorunun yük altına girmesi ve ani olarak yükten kurtulması durumlarında motor hızı ani değişimler göstereceğinden, sistemde çeşitli sorunlar oluşturmakla beraber manuel bir kontrol sisteminde çalışması gerekmektedir. Manuel kontrollü durumda bir teknik personelin mesaisini bu işe harcaması gerekeceği gibi, çok hızlı değişen durumlarda bile teknik personel de yetersiz kalacaktır. Mikrodenetleyici tabanlı yapılan DA motor denetiminde sistemin hızlı, verimli, hassas, ekonomik, güvenilir, zamandan ve personelden tasarruf sağlama gibi birçok avantajları mevcuttur (1-9, 16). Yukarıda verilen özellikler sisteme ait genel özellikler olarak verilebilir.

Yapılan çalışmanın, literatürde karşılaşılan genel özellikleri dışında çalışmaya yenilik getiren özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- DA motorunun ileri yönde çalışırken aniden ters yöne dönmesi gerektiği durumlarda yaşanan ölü bant gecikmesi yok edilmiştir.
- Çalışmada microchip firmasının PIC 18F4520 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.
- Anahtarlama elemanı olarak 400 V, 150 A' e kadar dayanıklı IGBT kullanılmıştır

PIC 18F4520'nin 4 tane DGM çıkışı mevcuttur. Literatürdeki yapılan çalışmalarda PIC 18F4520 kullanılmadığından, diğer mikrodenetleyicilerin bir tane DGM kullanıldığı için ölü bant gecikmesi kaçınılmaz olmaktadır. Ölü bant gecikmesi; programla ayarlandığından, dönüş anında bir gecikme yapılması gerekmektedir. Bu gecikme ölü bant bölgesi olarak bilinir (12-13). Anahtarlama elemanının yüksek gerilim ve akıma dayanıklı olması sebebiyle daha güçlü (110 V, 80 A, 7.5 kVA) DA motorlarının hız denetimine imkan vermesidir (11, 14-18). Önceki çalışmaların bir çoğunda (2, 7, 10, 15-17), hazır entegre kullanılması akım ve gerilim değerlerini sınırlandırmaktadır. Gerilim değerleri 24-36 V, akım değerleri ise 3-6 A' de kalmaktadır. Sistemin programı C dilinde yazılmıştır. Bunun avantajı, yapılacak herhangi bir değişikliği birkaç komut satırını değiştirerek kolayca yenileyebilmesidir.

Hazırlanan deney kartı üzerindeki LCD, deney kartına bağlanan tuş takımı ve osiloskop yardımıyla doğru akım motorunun dört bölge çalışması mühendislik eğitimi ve teknik eğitim için bir eğitim setine dönüştürülmüştür. DA motorun hangi bölgede çalıştırılacağı, hız, gerilim ve akım gibi değişkenlerden hangi değerlerin sabit tutulup, hangilerinin osiloskop yardımıyla ölçülebileceği bu eğitim seti ile gerçekleştirilmektedir.

2. MİKRODENETLEYİCİ İLE DA MOTORUNUN DÖRT BÖLGE DENETİMİ

DA motorlarının hızını denetlemek için iki yöntem vardır. Bunlardan birisi gerilim denetimi diğeri ise faz denetimidir (10, 11). Gerilim denetimi analog olup, genelde kullanılan bir metottur. Bu metodu kullanmak için ayarlı bir gerilim kaynağına ihtiyaç vardır. Ancak verimli ve kullanışlı bir metot değildir. Faz kontrolü, DA motorlarında dört bölge denetiminin gerçekleştirilebilmesi için görev saykılı ayarlanabilen darbe genişlik modülasyonu (DGM) sinyaline, motoru sürebilmek için bir sürücü devresine, motorun hızının ölçülebilmesi için hız okuma arabirimine ve çeşitli lojik kapılara ihtiyaç vardır. Bu işlemleri bir mikrodenetleyici kullanarak daha basit ve ucuz olarak gerçekleştirmek mümkündür. Mikrodenetleyici kullanılması, devre için gereken birçok devre elemanının ortadan kaldırılmasını ve sistemin denetiminin daha kolay bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Günümüzde

DA motorunu sürmek için en yaygın yöntem H-Köprü metodudur. Bu yöntem kullanılırken yarım köprü ile tam köprü sistem sürülmektedir. Yarım köprü push-pull sürmesi için mikrodenetleyicinin iki pini kullanılır. Bu pinler DGM sinyalini üretmek için güç anahtarları iki DGM sinyali ile ayarlanır ve yarım köprü ile tam köprü sürülür. Bu durumda bir ölü bant gecikmesi yaşanır. Bu ölü bant gecikmesi programla ayarlanır.

Dört bölge (Tam Köprü) modunda mikrodenetleyicinin dört pini çıkış için kullanılır ve aynı anda iki pin aktiftir. Dört bölge denetiminde ölü bant gecikmesi yaşanmaz ve yüksek frekanslarda verimi maksimum seviyededir. Dört pinin çıktısı olarak ayarlandığı zamanlarda ölü bant gecikmesi gerekmez. Sadece aşağıdaki durumlarda ölü bant gecikmesi gerekir.

- DGM sinyalinin değiştiği zamanlarda görev saykılının %100' e yakın olduğu zamanlarda ölü bant gecikmesi gerekir.
- Motorun yönü ani olarak değişeceği zamanlarda ölü bant gecikmesi gerekir.

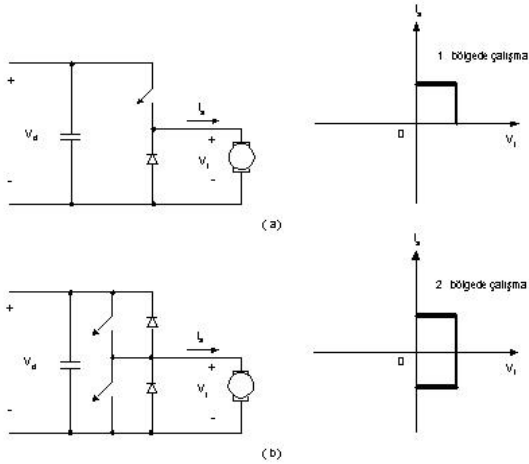
Uygulamaya yönelik olan bu çalışma ile DA motorunun dört bölge denetimi mikrodenetleyici tabanlı olarak yapılmıştır. DA motorunun hızı sistem için gerekli hızdan büyük veya küçük ise, mikrodenetleyici gerekli olan DA motoru sürücü devresini yarıiletken anahtarlar yardımı ve darbe genişlik modülasyonu yöntemi ile dört bölgede denetler.

1. *bölge:* Hızın tek yönlü olduğu ve DA motorunun frenlenmesi gerekmiyor ise Şekil. 1a'da gösterilen devre kullanılır.

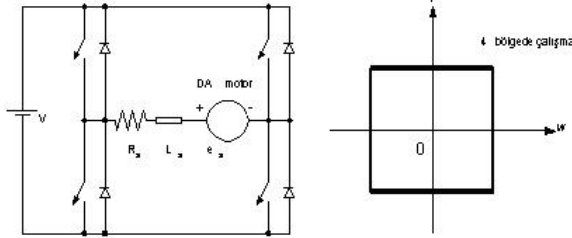
2. *bölge:* DA motorunun hızı yön değiştirmesi gerekmiyor, ancak frenleme yapılması isteniyorsa Şekil. 1b'de gösterilen devre kullanılır. Devre iki anahtardan oluşur. Bunlardan biri çıkış gerilimini i_a' nın yönünden bağımsız kılmak üzere daima kapalı tutulur. Ancak endüvi akımı yön değiştirebilir ve negatif bir i_a değeri DA motorundan V_d' ye bir güç akışının gerçekleştiği frenleme moduna karşı düşer. V_t çıkış gerilimi genlik olarak kontrol edilebilir (12).

3. *bölge:* DA motorunun her iki yönde çalışması gerekiyorsa ve sadece ileri yönde faydalı frenleme (ani fren) isteniyorsa, motor ileri yön, ileri yönde fren ve ters yönde çalıştırılır.

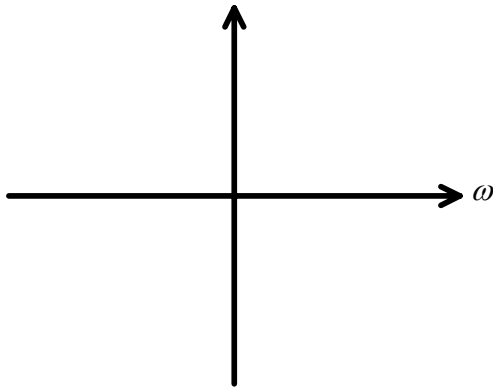
4. *bölge:* DA motorunun hız ve yönünün denetimi, ileri ve geri yönde çalışmada frenlenmesi gerekiyorsa Şekil. 2'deki devre kullanılır. Bu devrede dört tane anahtarlama elemanı kullanılmıştır. Bu yöntem tam köprü (H - Köprü) yöntemi de denilmektedir. Şekil. 3'de de DA motorunun dört bölge kontrolünde, her bölgedeki akım ve gerilimin işaretleri verilmiştir.



Şekil 1. a) DA motorunun 1 bölgede çalışması.
b) DA motorunun 2 bölgede çalışması



Şekil 2. Dört bölgede çalışan bir doğru akım motor servo sürme sistemi



Şekil 3. DA motorunun dört bölge kontrolündeki her bölge için akım ve gerilim işaretleri

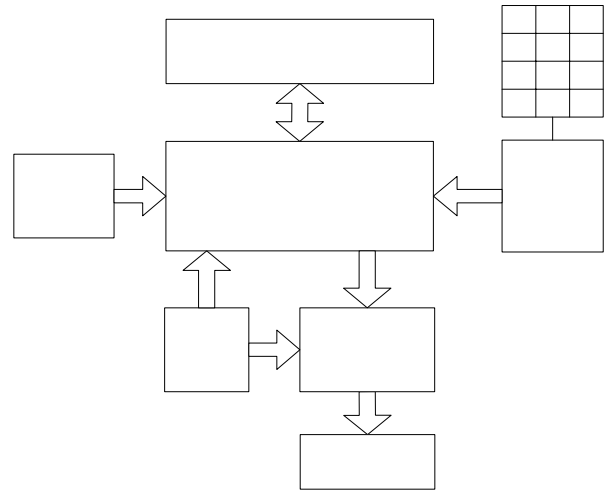
3. MİKRODENETLEYİCİ TABANLI DA MOTOR HIZ DENETİMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

DA motor hız denetim ünitesinde kullanılan donanım PIC 18F4520 mikrodeneleyici, sürücü devresi, güç devresi, güç kaynağı, LCD ve tuş takımından oluşmaktadır. Sisteme ait blok diyagramı Şekil.4'de verilmiştir. Blok diyagramda verilen her blok öncelikle ayrı ayrı tasarlanarak daha sonra birleştirilmiştir. Sistemin çalışması mikrodeneleyici tarafından denetlenmektedir. Mikrodeneleyici tarafından üretilen DGM sinyali öncelikle IGBT sürücüsünü iletme geçirmektedir. Daha sonra IGBT sürücü IGBT anah-

tarlama elemanlarını iletme geçirmektedir. Böylece DA motorunun hız denetimi gerçekleştirilmektedir.

DA motor hız denetiminin gerçekleştirilebilmesi için görev saykılı ayarlanabilen DGM sinyaline, motoru sürbilmek için bir sürücü devresine, motorun hızının ölçülebilmesi için hız okuma arabirimine ve çeşitli lojik kapılara ihtiyaç vardır. Bu işlemleri bir mikrodeneleyici kullanarak daha basit ve ucuz olarak gerçekleştirmek mümkündür. Mikrodeneleyici kullanılması, devre için gereken birçok çevre elemanının elemine edilmesini sağlamakta ve sistemin denetiminin daha kolay gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

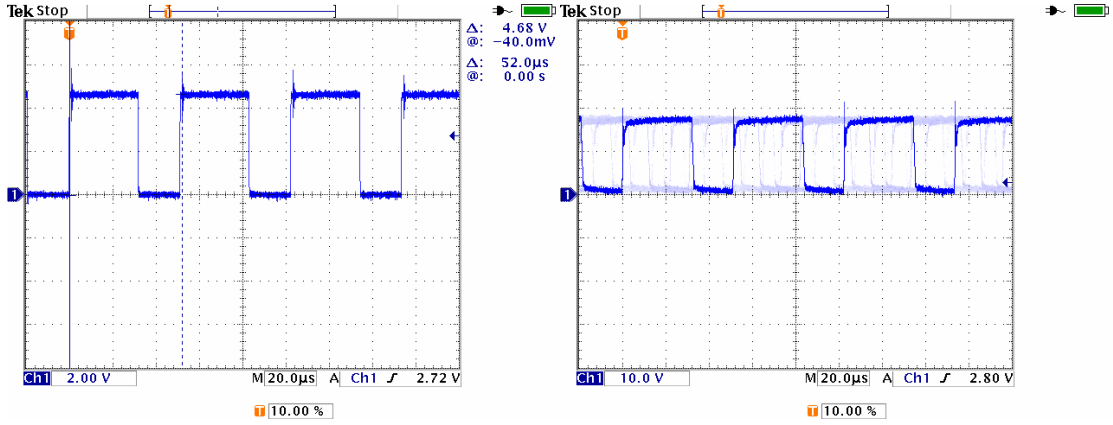
Uygulamada IGBT olarak Mitsubushi firması tarafından üretilen 2MBI150N-60 modül kullanılmıştır. Her modül kendi içerisinde yarım köprü bağlantı şekli oluşturacak şekilde iki IGBT'den oluşmaktadır. Üzerinden 150 amper kadar akım geçirilebilmekte ve tutma gerilimi 400 voltur.



Şekil. 4 Sistemin blok diyagramı

3.1. IGBT Sürücü Devresi

Hız kontrol devresindeki IGBT'lerin çalışabilmesi için sürücü devreye ihtiyaç vardır. Her IGBT elemanını yalıtılmış kaynaktan sürmek gerekmektedir. Aksi takdirde DA gerilim sürücüler üzerinden kısa devre olmaktadır. Bu sakıncayı gidermek amacıyla her IGBT elemanı için yalıtılmış besleme kaynağı kullanılması gerekmektedir. Bu işlem için Mitsubushi firması tarafından üretilen EXB841 sürücü devresi kullanılmıştır. Bu devre 20 V DA gerilimle beslenmekte ve çıkışta IGBT sürücüsünün çalışmasını sağlayacak sürme sinyali vermektedir. Şekil.5'de mikrodeneleyici tarafından üretilen DGM sinyali ve IGBT sürme devresinin çıkışından alınan IGBT sürme sinyali görülmektedir. Mikrodeneleyici çıkış sinyali 5 volt seviyesinde iken, IGBT sürücü devresi çıkış 18 volt seviyesinde olduğu görülmektedir



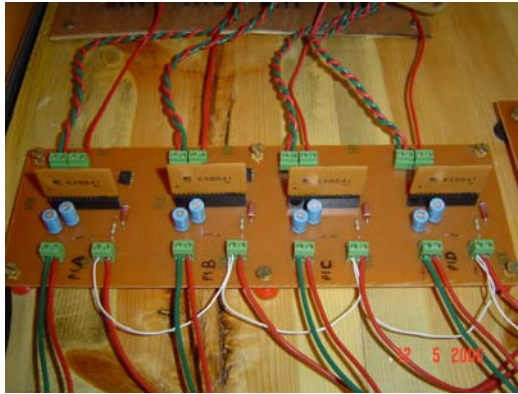
(a) Mikrodenetleyici çıkışı

(b) IGBT sürücü çıkışı

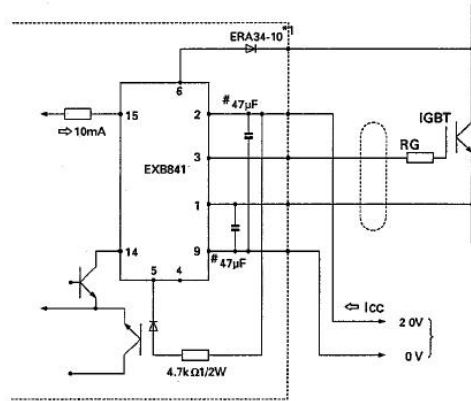
Şekil 5. DGM sinyali

Sürücü entegresi içine yerleştirilen opto izolatör ile giriş çıkış birbirinden yalıtılmıştır. Yarıiletken anahtarlama elemanlarına DGM sinyalleri direk uygulanamaz. Bu işlem için bir sürücü devresine ihtiyaç vardır. EXB841 gibi. EXB841 sürücüsünün fotoğrafı ve bağlantı şeması Şekil 6a ve 6b’de sırasıyla verilmiştir.

Sistemde kullanılan dört anahtarlama elemanı için dört tane de sürücü kullanılmıştır. Bu sürücülerin güç kaynakları sabit 20 V DA gerilim vermektedir. Şekil.7’de her bir sürücü için kullanılan birbirinden bağımsız güç kaynaklarının fotoğrafı verilmiştir.



(a) EXB841 modül



(b) EXB841 iç bağlantı şeması

Şekil 6. EXB841 anahtarlama elemanı



Şekil 7. EXB841 sürücüsünün güç devresi

4. EĞİTİM SETİNİN OLUŞTURULMASI VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI

DA motorunun dört bölgede çalışmasını görsel hale getirmek, öğrencilerin seçenekler içerisinde değişik çalışma şartlarını görerek öğrenmesini kolaylaştıracaktır. Yapılan bu çalışmada; görsel olarak LCD, dışarıdan bilgi girmek için tuş takımı, çıkış değerlerini gözlemlemek için osiloskop kullanılmıştır. Öğrenciler DA motorunun çalışacağı bölgeyi, hızını, gerilimini veya akımını belirleyerek çalışmasını gözlemleyecektir.

1.**Hız** : 1. seçenek işaretlendiğinde 0-3000 d/d arasında girilen bu hız değeri, DA motorunu bu değerde sabit tutarak, çekilecek akım ve uygulanacak gerilim değerlerini ve grafiğini osiloskopa izleme şansına sahip olmakla beraber, DA motorunu dört bölgeden istenilen bölgede çalıştıracaktır.



Şekil 10. DA motorunun dört bölge tanıtımı

Bu pencerede kullanıcı 1, 2 ve 3 seçenekten istediği bir tanesini girerek hız, gerilim ve akım



Şekil.11 DA motorunun hız, gerilim, akım değerlerini seçme penceresi

2.**Gerilim** : Deneyde kullanılan DA motorunun gerilim değeri sınırları içerisinde öğrenci istediği gerilim değerini girerek, DA motorunu bu gerilim değerinde ve dört bölgeden istediği bölgede çalıştıracaktır.

3.**Akım** : DA motorunun ve sistemin dayanabileceği maksimum akım değerine kadar öğrenci istediği akım değerini ve çalışacağı bölgeyi belirtip, DA motorunu bu şartlar içerisinde çalıştırarak gerilim ve hız değerlerini gözlemleyebilir.

Şekil.10'da sistem çalıştırıldığında, DA motorunun dört bölge tanıtımı görülecektir. LCD üzerinde kullanıcının seçenekleri işaretleyip, tuş takımından bu değerleri girerek deneyi gerçekleştirebilmektedir. Bu ekranın amacı; kullanıcıya dört bölgenin konumu hakkında bilgi vermektir. 7-8 sn ekranda kaldıktan sonra otomatik olarak Şekil.11 ekranı gelecektir.



Şekil.12 DA motorunun çalıştığı bölgeler

değerinden birini sabit tutarak diğer değişkenlerin durumunu osiloskoptan izleyebilir. Kullanıcı 1 numaralı seçeneği seçtiğinde, hız değerini 0-3000 d/d arasında girerek DA motorunun bu devirde dönmesini sağlar ve bu devrin durumuna göre DA motorunun üzerine düşen gerilim ve şebekeden çekilen akım değerlerini ve grafiğini osiloskopta izleme imkanı doğar. Bu pencereden 1-3 arası seçilen seçenektan sonra Şekil.12'deki pencere ekrana gelerek DA motorunu I, II, III ve IV. bölgede çalışma durumu belirlenir.

Kullanıcı bu pencere geldiğinde DA motorunun çalışacağı bölgeyi tespit etmesini sağlar. Kullanıcı hız bilgisini belirleyeceğinden II. ve IV. bölge fren olduğundan seçmesinin bir anlamı olmayacaktır. Seçilse bile DA motoru fren konumunda olduğundan DA motoru frenlenecektir. I. ve III. bölgelerden birisi seçildiğinde DA motoru ileri veya ters yönde belirlenen devirde sabitlenerek çalışmasına devam edecektir. Bu çalışma esnasında akım ve gerilim değerleri osiloskopta izlenebilmektedir.

Kullanıcı DA motorunun çalışacağı bölgeyi belirledikten sonra tuş takımından (#) tuşlayarak seçtiği bölgeyi onaylamış olmaktadır. (*) tuşuna basılırsa bölge seçme işlemi iptal edilmiş olur. DA motorunun çalışacağı bölge seçildikten sonra tamam (#) tuşuna basılırsa Şekil.13'deki pencere ekrana gelecektir.



Şekil.13 DA motorunun hız bilgisi girme penceresi

Bu pencerede kullanıcıdan DA motorunun devir sayısı girmesi istenir. Kullanıcı tuş takımından DA motorunun devir sayısını 0 ile 3000 arasında girerek DA motorunun çalışacağı devir sayısını belirlemiş olmaktadır. DA motoru sistem içerisinde istenilen devir sayısına ayarlanarak DA motorunun çalışması sağlanmaktadır. Bu çalışma esnasında DA motorunun şebekeden çektiği akım, gerilim değerlerini ve grafiğini osiloskoptan izleme imkanına sahip olacaktır. Girilen değerler sabit tutularak, sadece çalıştığı bölge değiştirilip (ileri yönde çalışma «» ters yönde çalışma) DA motorunun devir yönünün değiştirilmesi durumu osiloskoptan çok rahat izleme imkanına sahip olacaktır.

Kullanıcı isterse DA motorunun gerilimini sabit tutarak diğer değişkenleri izleyebilir. Bu işlem için Şekil.11'deki ana pencereye dönerek GERİLİM seçeneğini seçer. Bu pencereden kullanıcı 2 numaralı seçeneği seçtiğinde HIZ' da olduğu gibi DA motorunun çalışacağı bölge (Şekil.12) ekrana gelecektir. Bu pencereden istenilen bölge seçilebilir. DA motorunun çalışacağı bölge seçildikten sonra Şekil.14'deki pencere ekrana gelecektir.



Şekil 14.DA motorunun gerilim değerlerini seçme penceresi

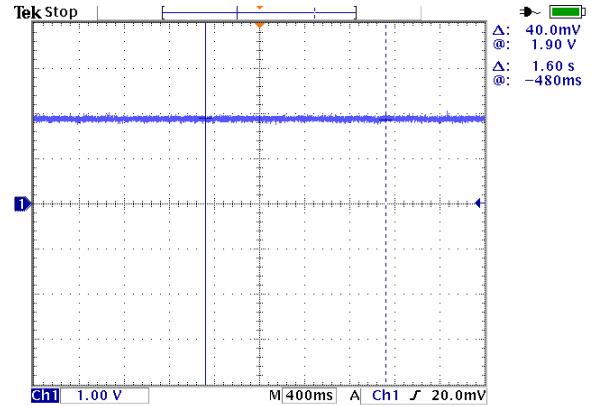
Kullanıcı 0-220 V DC arasında bir değer girdiği zaman sistem DA motorunun gerilim değerini bu seviyede tutarak çalıştırır. Bu durumda DA motoru ileri yönde veya ters yönde çalışmasını sürdürecektir. Kullanıcının girmiş olduğu bu gerilim değerindeki hız

ve akım değerlerini kullanıcı ister LCD üzerinden, isterse osiloskoptan izleme imkanına sahiptir.

Bu işlemler 3. durumdaki akım değeri içinde geçerli olmaktadır. Kullanıcı izin verilen sınırlar içerisindeki akım değerini seçerek, gerilim ve hız değişimlerini DA motorunun dört bölgedeki çalışma durumlarına göre ayrı ayrı izleme imkanına sahip olacaktır.

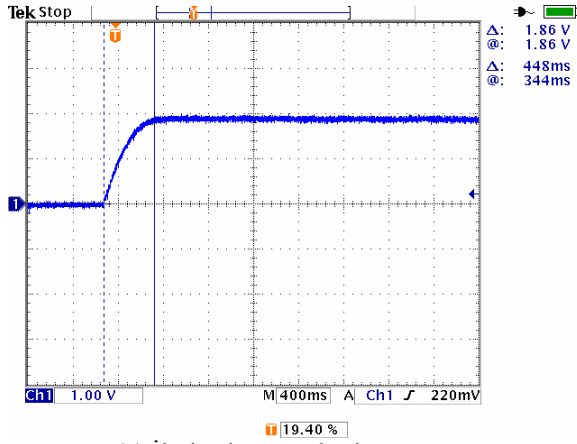
Yapılan bu çalışmada dışarıdan hız değeri girilerek örnek değerler alınmıştır. Hız değerini 0-3000 d/d arasında istenilen seviyede seçerek DA motorunun kalkış akımını, DGM sinyalinin, tetikleme sinyalinin, ileri yönde çalışma, ileri yönde fren, ters yönde çalışma, ters yönde fren ve şebekeden çekilen akım değerlerini grafikleri ile birlikte elde edilmiş ve Şekiller 15-19'da verilmiştir.

Uygulama çalışmaları sırasında mikrodenetleyici anahtarlar frekansı 10 kHz seçilmiştir. Uygulama verilerinin elde edilmesinde motor hız tepkisi için tako generatör çıkışı, faz akımını ölçmek için osiloskop ile uyumlu çalışabilen akım probu kullanılmıştır. Osiloskop görüntüleri Tektronix firmasının ürettiği TDS 3014 sayısal osiloskop ile elde edilmiştir. Uygulamada DA motor olarak 220 V, 3 A, 3000 d/d etiket değerlerine sahip şönt motor kullanılmıştır. Motorun uyarım devresi gerilimi sabit tutularak, endüvi devresinden geçen akım yönü değiştirilmek suretiyle yarıiletken anahtarlar yardımıyla dört bölge denetim sağlanmıştır. DA motor 110 V 1180 d/d hızda dört bölgede ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Bu duruma ait uygulama sonuçları Şekiller 15-19'da verilmiştir. Şekil.15'de 1180 d/d'da kararlı çalışma durumuna ait osiloskop çıkışı verilmiştir

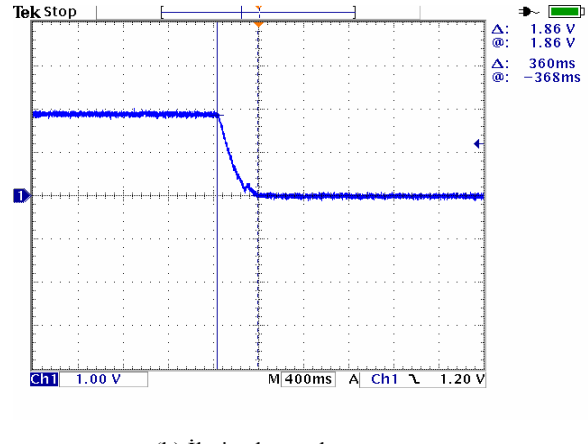


Şekil 15. Kararlı çalışma durumu

Şekiller 16a ve 16b'de ise ileri bölge çalışma ve frenlemeye ait iki adet grafik verilmiştir. İleri çalışmada motorun kararlı çalışma durumuna ulaşabilmesi için 448 ms bir sürenin geçtiği Şekil.16a'da görülmektedir. Şekil.16b' de ise frenleme sinyali gönderildikten 360 ms sonra DA motoru durmaktadır.



(a) İleri çalışma yükselme zamanı

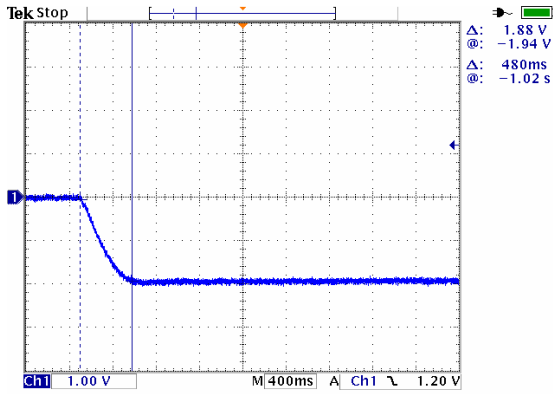


(b) İleri çalışma durma zamanı

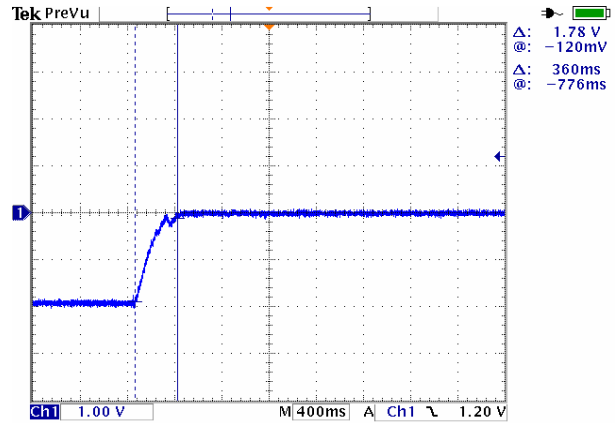
Şekil 16. İleri bölge çalışma

Şekiller 17a ve 17b’de ise geri bölge çalışma ve frenlemeye ait iki adet grafik verilmiştir. Geri çalışmada motorun kararlı çalışma durumuna ulaşabilmesi için 480 ms bir sürenin geçtiği Şekil.17a’da görülmektedir.

Şekiller 18a ve 18b’de ileri ve geri bölge çalışma bölgesinde motor başla dur olarak çalıştırıldığındaki grafikler görülmektedir. İleri ve geri yönde kalkış sürelerinin 352 ms olduğu gözlenmiştir.



(a) Geri çalışma yükselme zamanı

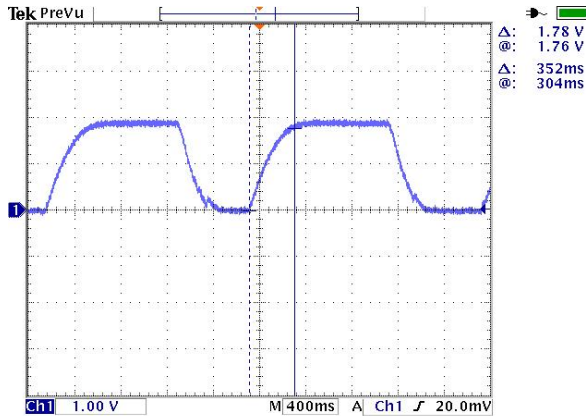


(b) Geri çalışma durma zamanı

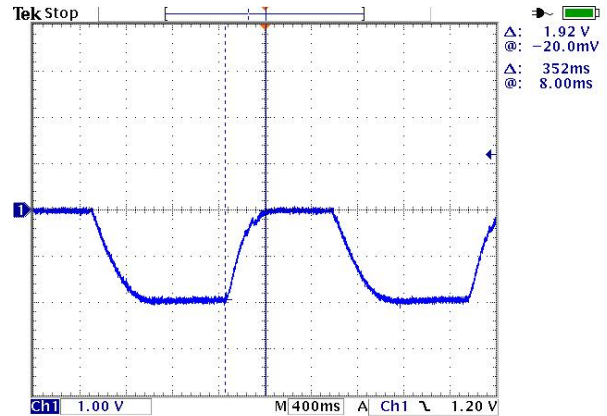
Şekil 17. Geri bölge çalışma

Şekil.17b’ de ise frenleme sinyali gönderildikten 360 ms sonra DA motoru durmaktadır.

Şekil.19’da ise hassasiyeti 10 mA/div, doğruluğu $\pm 1\% \pm 1\%3$, maksimum en yüksek darbe akımı 50 A,



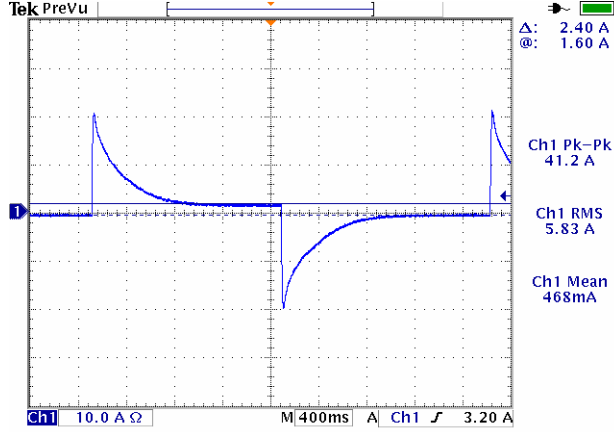
(a)



(b)

Şekil 18. İleri ve geri çalışma

sürekli çalışma akımı 15 A olan TCP202 BNC akım probu ile yapılan ölçüm görülmektedir. Verilen şekilde motorun ileri çalışma bölgesinde başlama ve durma anındaki oluşan ters akım görülmektedir. Başlama ve durma anında bu akımların tepe değerlerinin 20 A ulaştığı görülmektedir. Bu durumda motorun sürekli çalışma akımı 2.40 A'dır. Akım probu sürekli akımı 15 A olduğu için bu ölçme işlemi 70 voltta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 19 İleri bölge çalışmada motor akımı

5. SONUÇ

Bu çalışmada DA motorun dört bölge kontrolüne ait Mühendislik Eğitimi ve Teknik Eğitimde kullanılacak bir eğitim seti gerçekleştirilmiştir. DGM kontrollü DA motorunun hızı mikrodeneleyici ile yapılmıştır. IGBT'ler 10 kHz gibi yüksek bir anahtarlama frekansıyla anahtarlara, sistemin hassasiyeti artırılmıştır. PIC 18F4520'nin tam köprü (H-köprü) yöntemi için özel yazmaları bulunmaktadır. Diğer mikrodeneleyicilerde (PIC 16F877) olduğu gibi 2 tane DGM çıkışı mevcuttur. Ama bu DGM çıkışlardan CCP1 çıkışının 4 tane çıkışı vardır ve bu çıkış yöntemi H-Köprü yöntemine özel olarak yapılmıştır. Kullanılan 4 tane anahtarlama elemanlarının her biri ayrı ayrı mikrodeneleyicinin farklı DGM çıkışlarına bağlanmış olup, motorun ileri, geri, ileri yön fren ve geri yön fren işlemlerinde otomatik olarak ayarlandığından, ölü bant gecikmesini ortadan kaldırmaktadır. Bu durum motorun sistem içerisindeki ani değişimlere daha hızlı tepki vermesini sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışma 10 kVA gücündeki DA motorlarında rahatlıkla kullanılabilir. Bunun nedeni anahtarlama elemanı olarak hazır entegre kullanmayı, 400 V ve 150 A'e kadar dayanıklı IGBT kullanılmasıdır.

Doğru akım motorunun dört bölgede çalıştırılması için hazırlanmış olan eğitim setinin mühendislik eğitimine ve teknik eğitime olumlu katkılar sağlaması beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Chan, C.C. February 1987. Low Cost Electronic-Controlled Variable Speed Reluctance Motors, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-34, No. 1, 95-100.
- Castagnet, T., Nicolai, J. 1992. Digital Drive for Home Appliances, IEE Colloquium on DC motor Variable Speed Drives and Motion Control, 6/1-6/4.
- Bodson, M. 1996. Trends in Electronics for Electric Motor Control, IEEE Control Systems Magazine, Vol.16 (5), 88-96.
- Sen, P.C. 1990. Electric Motor Drives and Control-Past, Present, and Future, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.37 (6), 562-575.
- Bose, B.K. 1993. Power Electronics-Recent Advances and Future Perspective, International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Vol.1, 14-16.
- Rahman, M.A. 1993. Modern Electric Motors in Electronic World, International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Vol.2, 644-648.
- Bodson, M. 1997. Electronic Chips for Electric Motor Control, American Control Conference, Vol. 1, 252-256.
- Çolak, İ., Bayındır, R., Sefa, İ. 2004. Experimental Study on Reactive Power Compensation Using A Fuzzy Logic Controlled Synchronous Motor, Energy Conversion and Management, Vol. 45(15-16), 2371-2391.
- Yılmaz, S., Tombaloğlu, B., Karabulutlu, K., Gümüş, Y., Dinçer, H. 2001. Temperature Control Applications by Means of a PIC16F877 Microcontroller, Second International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'2001), 353-357.
- Ahmed, F.I., El-Tobshy, A.M., Mahfouz, A.A., Ibrahim, M.M.S. 1997. P-I and I-P Controllers in a Closed Loop for DC Motor Drives, Power Conversion Conference, Vol.2, 613-618.
- Er, M.J. 1995. A Novel PI Controller for a Thyristor-DC Drive, International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Vol.2, 850-853.
- Fitzgerald, A.E., Kingsley, C.Jr., Umans, S.D. 1985. Electric Machinery, Mc Graw-Hill Book Co., 247-299, Singapore.
- Bal, G. 2001. Doğru Akım Makineleri ve Sürücüler, Seçkin Yayıncılık, 111-212, Ankara.
- Mohan, N., Tore, M.U., Robbins, W. 2003. Güç Elektroniği, Literatür Yayıncılık, 413-422, İstanbul.
- www.microchip.com , PIC18F4520 Data Sheet.
- Ahmed, F.I., El-Tobshy, A.M., Mahfouz, A.A., Ibrahim, M.M.S. 1997. P-I and I-P Controllers in a Closed Loop for DC Motor Drives, Power Conversion Conference, Vol.2, 613-618.
- Tunca, D. 1997. Serbest uyarımlı doğru akım motorunun mikrokontrolör tabanlı dört bölge hız kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

18. Barışoğlu, Ünsal, 1993. Mikroişlemcili Dört Kadran DC Motor Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi.
19. İbrahim, Dođan. 2004. PIC C ile Motor Kontrol Projeleri. Infogate yayınları.
20. Aydođmuş, Ö., Altun, H., Sünter, S. 2006. Implementation of PIC 16F877 Based Closed-Loop Controlled Four-Quadrant Dc Motor Drive. TPE-06 3rd International Conference on Tecnical and Physical Problems in Power Engineering. May 29-31, Ankara, TURKEY.